

研究題目名

課題番号：3G-2001 体系的番号：JPMEERF20203G01

地域産業と連携した下水汚泥肥料の事業採算性の高い循環システムの構築

重点課題⑩：地域循環共生圏形成に資する廃棄物処理システムの構築に関する研究・技術開発

行政ニーズ(3-5)：地域循環共生圏の形成に向けたバイオマス廃棄物等を対象とした処理プロセスのより一層の高度化に関する研究

研究代表機関：鹿児島工業高等専門学校

研究代表者：山内正仁

研究実施期間：2020年4月～2023年3月

研究分担機関：鹿児島県農業開発総合センター
産業技術総合研究所



1. 研究開発背景



下水処理場

→ 人間活動、生産活動によって発生した汚水を衛生的に処理する施設

→ 質・量ともに安定した**バイオマス**が多量に排出

↓ 下水汚泥 等

食料生産に利用する取り組み（BISTRO下水道）が産学官民の連携により盛んに行われている。

BISTRO下水道や下水道法の改正などにより汚泥の地域内での利用が進み、10年以前と比較して50~70千トン増加

下水汚泥発生量も増加

$\frac{331 \text{千トン}}{2,341 \text{千トン}}$ (14.1%)

[国交省：2019年度]

下水汚泥の農業への利用率向上は見られない。



16道府県
29市町村

下水汚泥肥料
再生水
CO₂・下水熱

1.研究開発背景

● 下水汚泥の農業利用率が向上しない理由

【課題1】 水分を含むと泥状になり易く、利用者側にとって使い勝手が悪い。

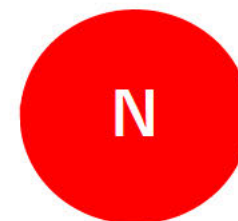


【課題2】 重金属含有量が牛糞堆肥、化成肥料等と比べ格段に高く、「汚泥肥料＝重金属＝危険」というイメージが先行。



【課題3】 葉菜類、果菜類の単年作物への利用、牧草への農地還元が主であり、利用用途が少ない。

【課題4】 地域の一次産業と密接に連携し、下水汚泥肥料の特性（高窒素・低カリウム）を最大限活用した取り組みが行われていない。



1.研究開発背景

課題1 課題2

- ・ 保水性が悪く、使い勝手が悪い
- ・ 重金属濃度が高く、
「危険」イメージが先行



イチゴ栽培



意見交換会開催



解決策 [国土交通省下水道応用研究(H.29-30)]



新規下水汚泥肥料の量産化は未検討

1.研究開発背景

課題3 課題4

- ・野菜類、芋類などの単年作物への利用が主であり、利用用途が少ない。
- ・下水汚泥肥料の特性（高窒素・低カリウム）を最大限活用した取り組みが存在しない。地域産業との連携がない。

鹿児島県 荒茶生産量：26,500トン【全国シェアの34%】
(2021年度) 茶栽培面積：8,300ha → 霧島市：595ha（120経営体）

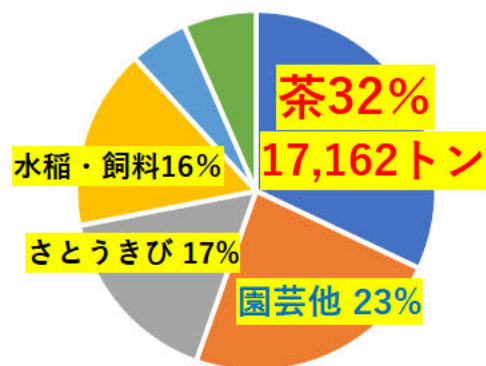


- 必要有機質資材：50～70kgN/10a/年
40～60万円/ha/年の肥料費 ▶ 茶農家の経営を圧迫
- 堆肥施用、整せん枝残さの刈捨て等による土壌中のカリウムの蓄積が進み、安価な高N・低K肥料が求められている

下水汚泥肥料：微生物由来のNが多く、Kが少ない

従来の有機質資材の代替として活用できる可能性大

茶産業との連携 ▶ 下水汚泥の利用率向上につながる



JA鹿児島県経済連
肥料販売実績（2020年度）

2.研究開発目的

国土交通省下水道応用研究で得られた成果を基に、**地域バイオマスの利用**を通して、**顧客ニーズに合致した新たな下水汚泥肥料を量産化**（サブテーマ1）し、これを**地域の茶産業に適用**（サブテーマ2）して**事業採算性の高い地域循環システムを構築**する。

サブテーマ1：新規下水汚泥肥料量産化技術の開発

- 小型肥料化装置の1,000倍量のスケールで新規下水汚泥肥料の製造および性能（無機化率）の再現性を検証する。

サブテーマ2：新規下水汚泥肥料を用いた茶栽培試験

- 有機質資材の代替としての利用可能か、茶葉収量・品質から評価。
- 新規下水汚泥肥料由来の窒素、重金属の茶樹・茶葉、土壌への影響を調査。

【下水汚泥堆肥（肥料）の施用ガイドライン（鹿児島県農政部：平成6年から引用）】
下水汚泥堆肥（肥料）は多量の重金属を含んでいることや消石灰混入による高pHであること等から、**茶園には原則、施用しない。**

上記ガイドラインにより、下水汚泥肥料を茶栽培に施用した事例はなく、本研究は**挑戦的・意欲的な取り組み**である。

3.研究目標及び研究計画

サブテーマ1：新規下水汚泥肥料量産化技術の開発

課題・未検討事項	研究計画	成果・目標
<p>小型肥料化装置で得られた新規下水汚泥肥料の量産化技術が確立されていない</p> <p>異なる処理場の脱水汚泥を用いた量産化試験が未実施</p>	<p>1年目～2年目</p> <p>5m³規模での量産化試験を実施 [使用汚泥:霧島市・鹿児島市]</p>  <p>特願2020-110731</p>	<p>量産化に対する目標</p> <p>小型肥料化装置で得られた成分特性[窒素等・重金属含有量]・肥料効果と同等</p>
<p>新規下水汚泥肥料製造は好気条件の製造法と比べて2～3倍の日数が必要 ⇒製造日数の短縮化が必要</p>	<p>2年目～3年目</p> <p>製造した新規下水汚泥肥料の一部(10～30%程度)を種汚泥として製造日数短縮化試験を実施</p>	<p>好気条件の製造法と同程度 [目標値：60日程度]</p>
<p>新規下水汚泥肥料の窒素高無機化率のメカニズムが不明</p>	<p>1年目～3年目</p> <p>肥料中の窒素形態、菌叢解析 実施</p> 	<p>窒素高無機化率のメカニズム解明 ⇒肥料製造・施肥の効率化へ活用</p>
<p>実用化に向けたコスト試算等が未検討</p> 	<p>1年目～3年目</p> <p>協力機関(日水コン、三州衛生公社)とともに肥料化コスト、販売価格の検討</p>	<p>肥料目標販売価格： 20円/kg以下</p>

3.研究目標及び研究計画 サブテーマ2：新規下水汚泥肥料を用いた茶栽培試験

課題・未検討事項	研究計画	成果・目標
新規下水汚泥肥料の 最適な施肥割合 が未検討	菜種油粕と新規下水汚泥肥料を用いた茶栽培試験	一番茶収量 582kg/10a以上 茶葉の品質 慣行区と同等以上 茶葉の重金属基準 (Codex) 総ヒ素： 2mg/kg Pb： 1mg/kg T-Hg： 0.5mg/kg以下
新規下水汚泥肥料の 効果的な施肥時期 が未検討	新規下水汚泥肥料の施肥時期が異なる茶栽培試験	茶園土壌重金属値 Zn：土壌管理基準： 120mg/kg Cu：土壌環境基準： 125mg/kg As：土壌環境基準： 15mg/kg
新規下水汚泥肥料の 地下水への影響 が不明	ポーラスカップ（地中深さ1m）で浸透水を採水し、窒素・重金属量を定量	地下水汚染につながらないことを明らかにする （慣行施肥区と同等）
窒素・重金属成分の マテリアルフロー が不明	幼木・成木に新規下水汚泥肥料を施肥し、土壌・茶樹に含まれる窒素・重金属量を定量	マテリアルフローの解明  目標値：上記基準値または慣行区と同等以下
新規下水汚泥肥料の利用による 肥料費削減効果 が不明	栽培試験結果と肥料コストから試算	慣行施肥区と比較し、20%の肥料コスト削減

● 新規下水汚泥肥料の量産化試験

協力機関：株式会社三州衛生公社 施設内にて量産化試験実施



新規下水汚泥肥料



重機による切返し状況

(切返し以外は内部への酸素供給なし)

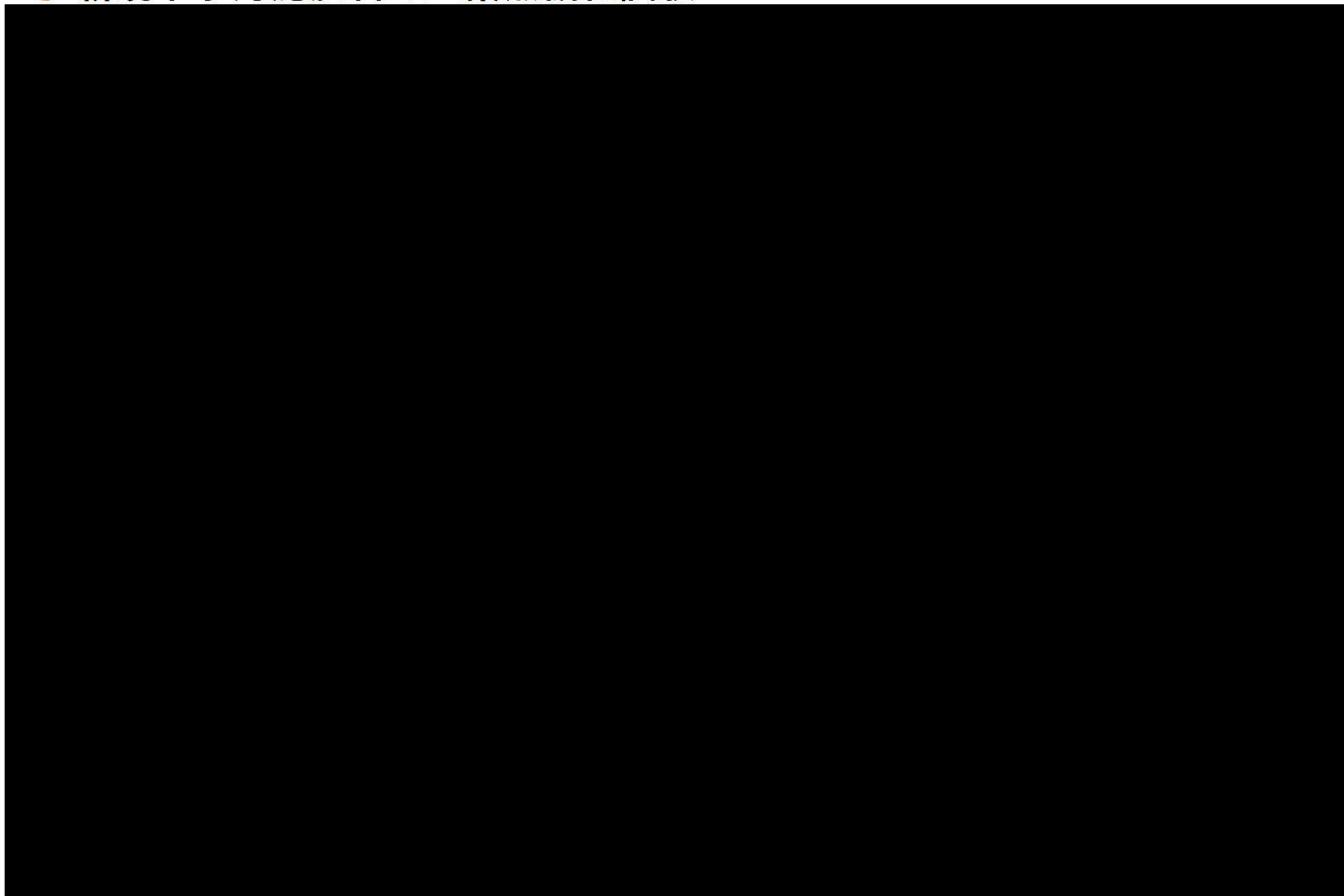
原料配合割合
(%乾物)

下水汚泥：40
竹おが屑：30
米糠：20
焼酎粕：10

下水汚泥
米糠・竹おが屑
焼酎粕
下水汚泥
焼酎粕
米糠・竹おが屑
下水汚泥

積み上げ概略図

● 新規下水汚泥肥料の窒素無機化試験



● 異なる脱水汚泥を用いた新規下水汚泥肥料の調製

鹿児島市南部処理場から排出される石灰系下水汚泥を使用

凝集剤：石灰系凝集剤、脱水工程：ベルトプレス



石灰系下水汚泥



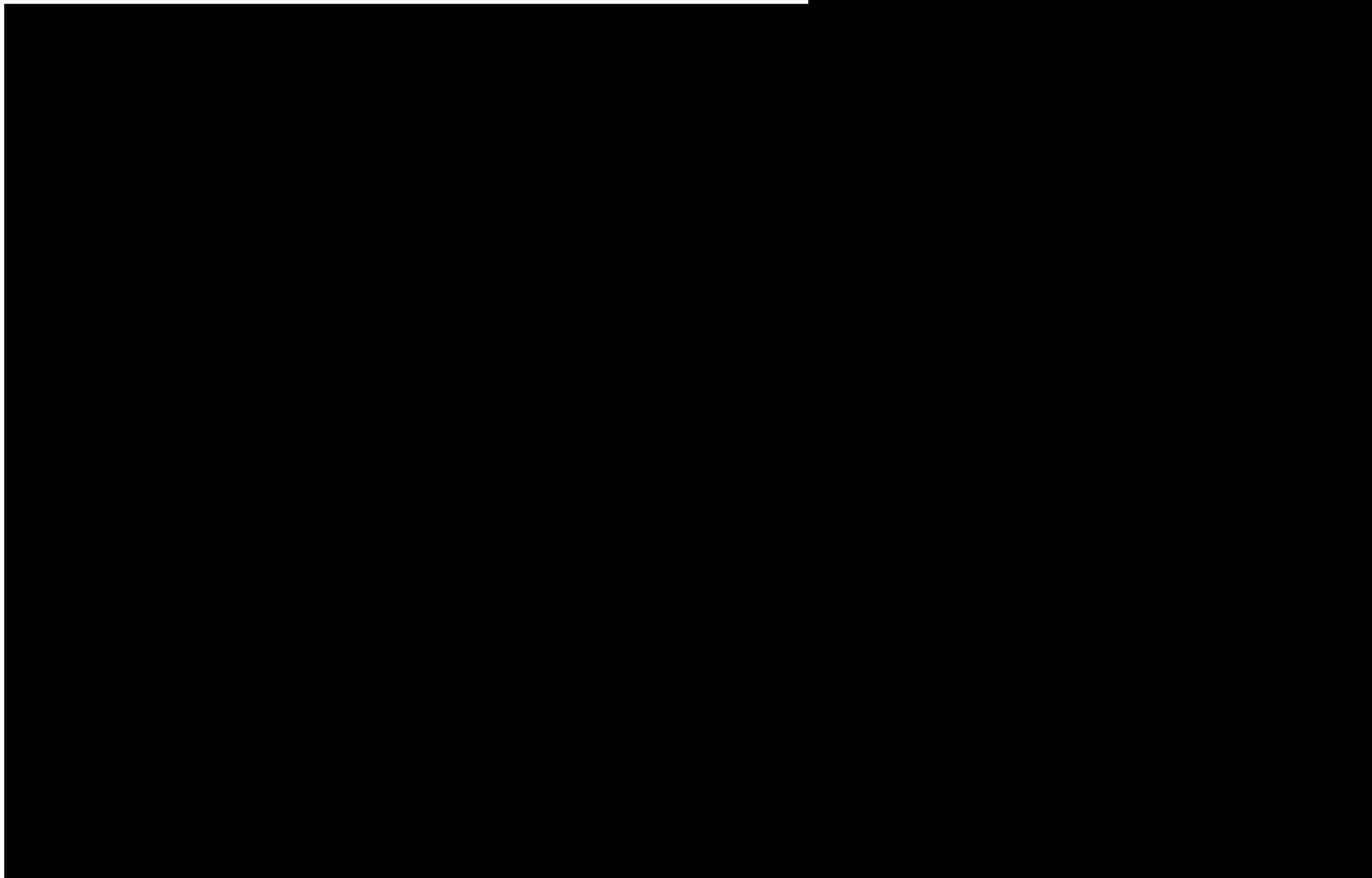
高分子系下水汚泥

新規下水汚泥肥料の肥料成分へ及ぼす影響を検討

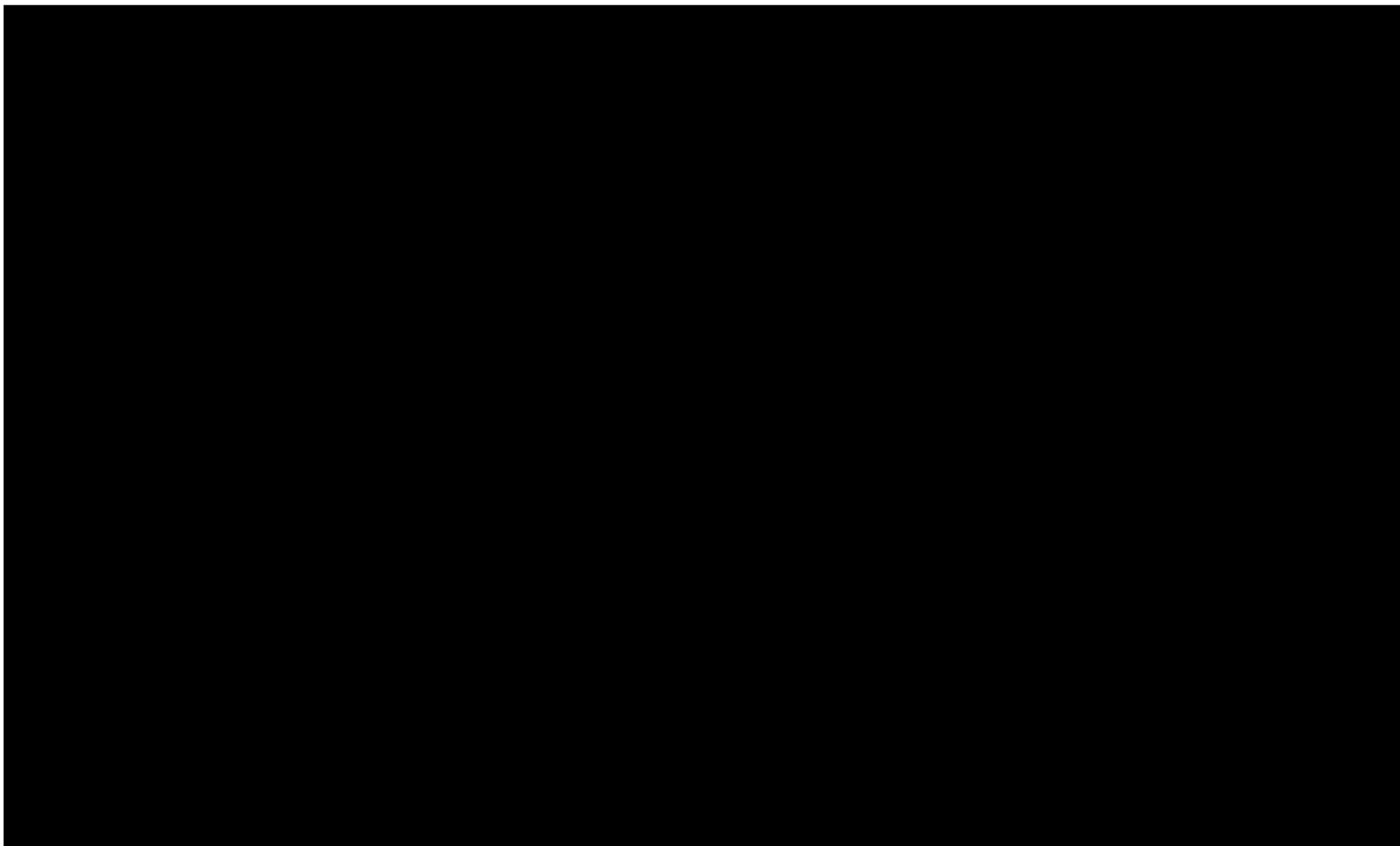
4.研究開発内容

サブテーマ2：新規下水汚泥肥料を用いた茶栽培試験

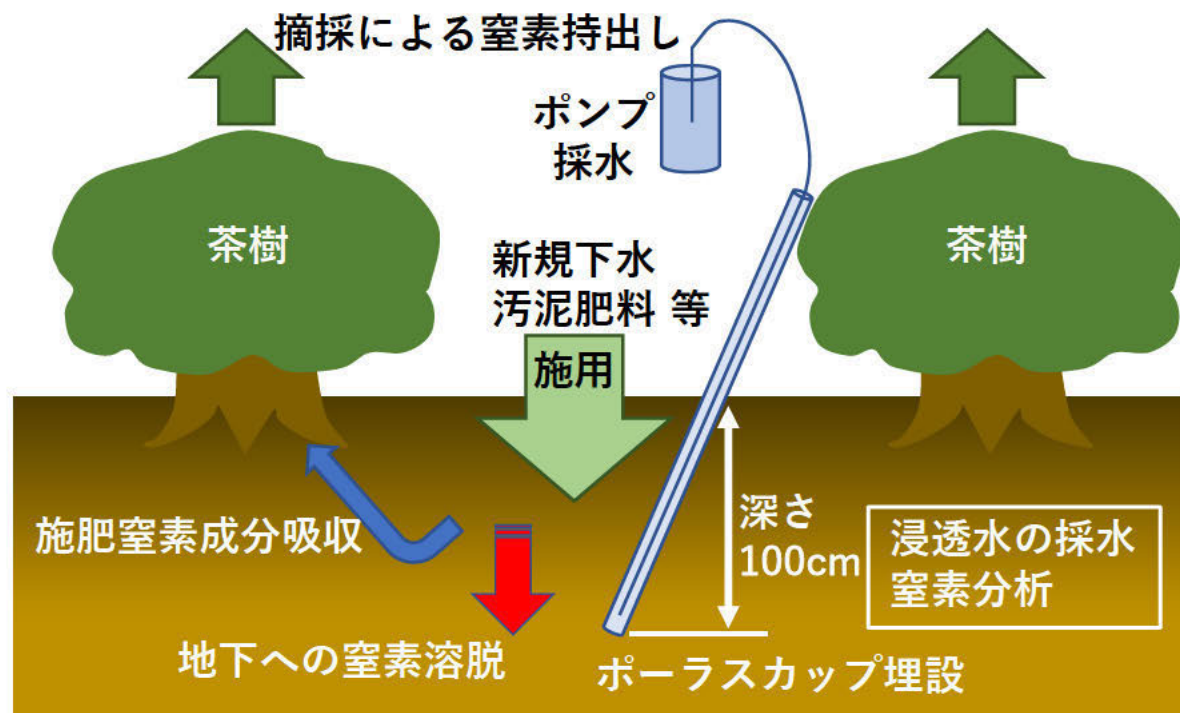
- 新規下水汚泥肥料の最適配合割合の検討



- 新規下水汚泥肥料の効果的な施肥時期の検討

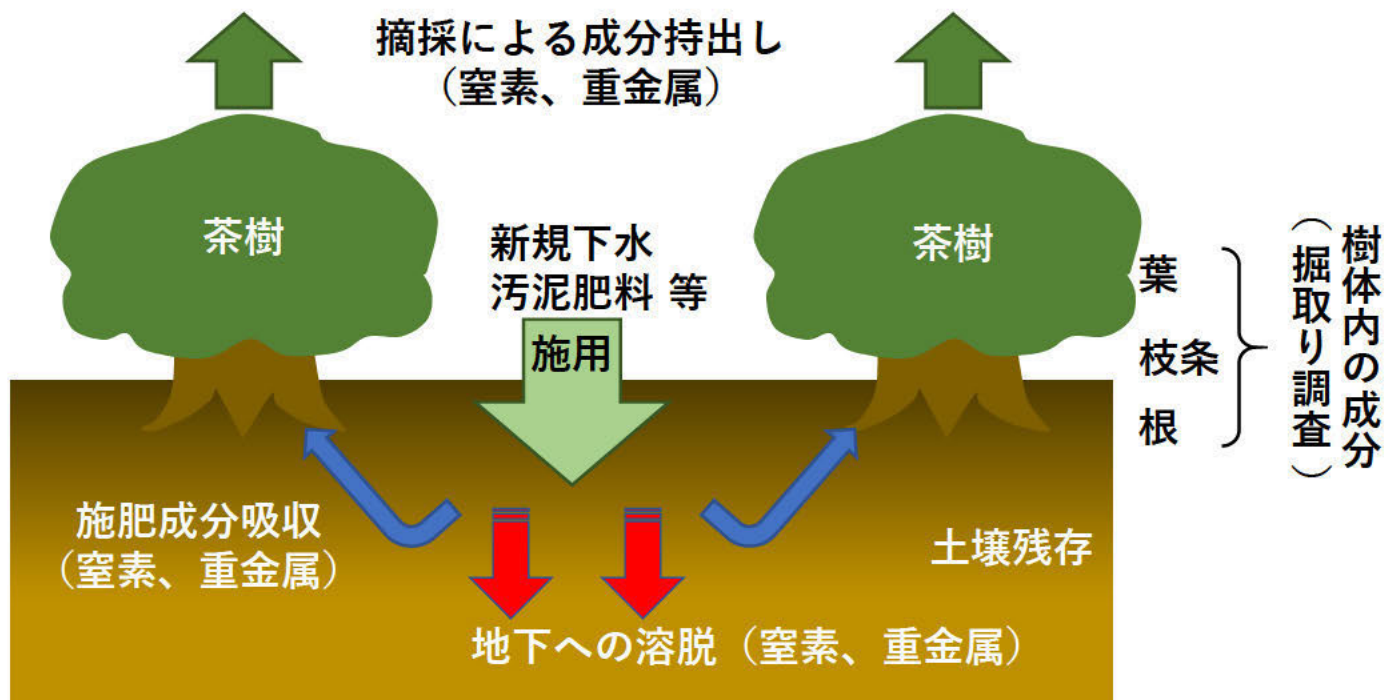


● 新規下水汚泥肥料の地下水への窒素溶脱量の評価



土壤からの窒素溶脱は降雨量の多い時期（梅雨、台風時など）に集中

窒素・重金属成分のマテリアルフロー解析



栽培試験風景 (幼木)



定植時(2020.11.6)

● 新規下水汚泥肥料の事業化に向けた検討

① 地域バイオマスの賦存量調査

量産化試験で用いた資材の配合割合をもとに、原料の安定的な調達可能性を各原料の賦存量から検討。賦存量の調査範囲は鹿児島県を対象。

② 新規下水汚泥肥料販売価格と肥料削減効果の検討

新規下水汚泥肥料の販売価格を原料費や製造施設、人件費等をもとに試算。また試算した販売価格から新規下水汚泥肥を茶栽培に適用した場合の1haあたりの肥料費削減効果を検討。

③ 新規下水汚泥肥料のマテリアルフロー分析（MFA）

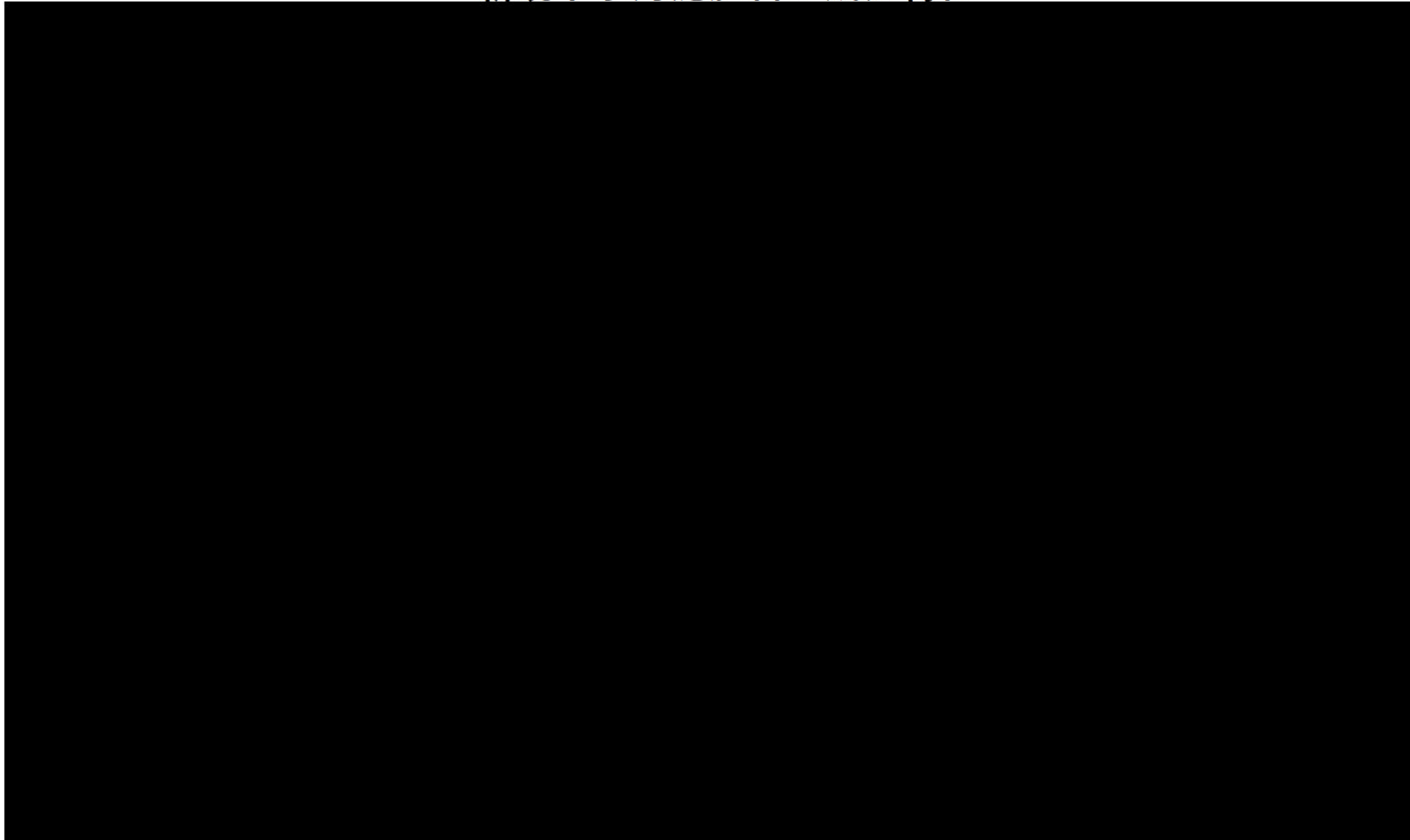
霧島市の茶畑面積(297.5ha)を基準として、下水汚泥・地域バイオマスの使用量を算出。そこから得られる新規下水汚泥肥量をもとに下水汚泥の利用率と肥料費削減効果、温室効果ガス排出量を試算した。

④ 新規下水汚泥肥料の販路調査と普及に向けた検討

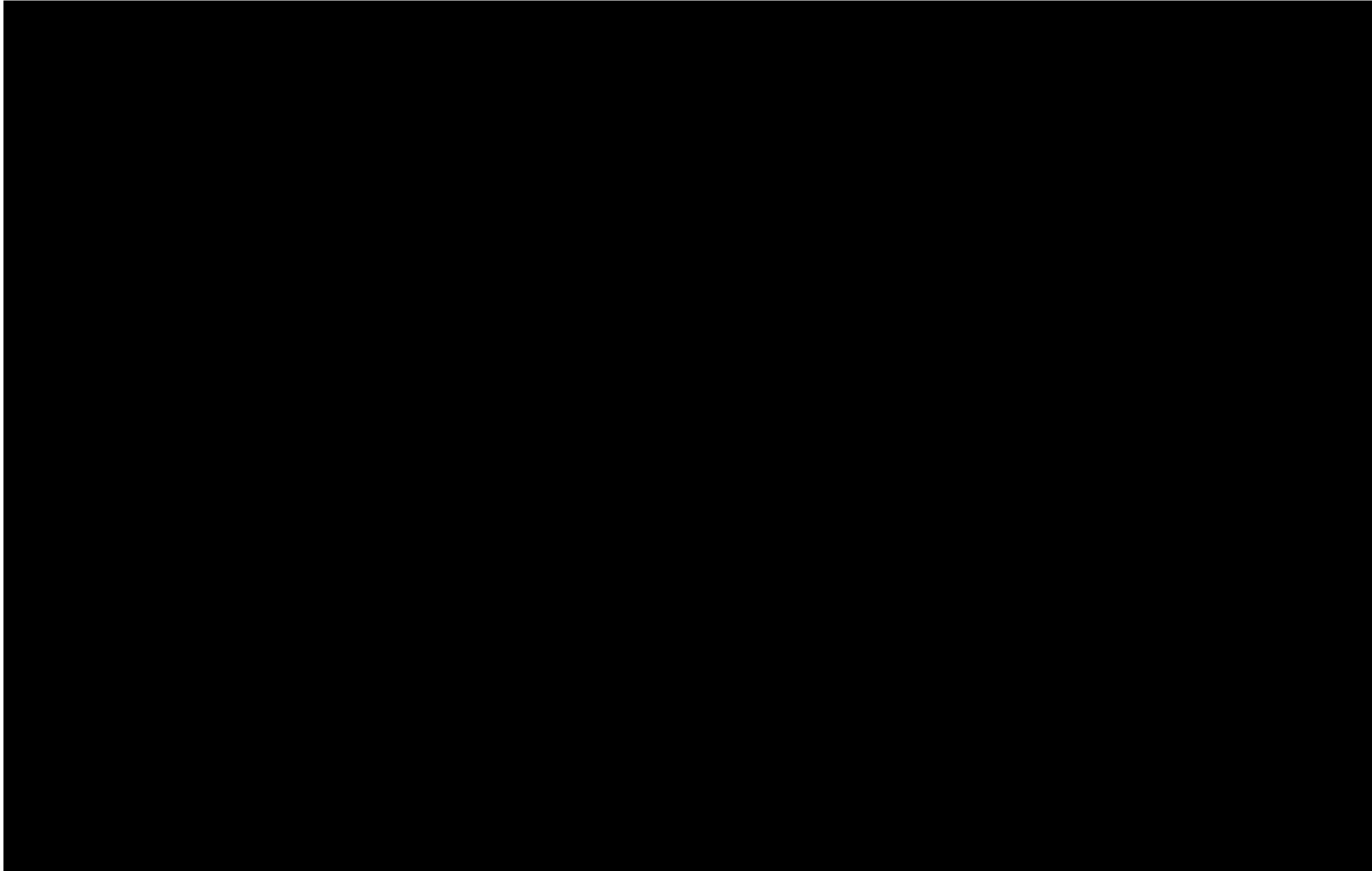
下水道資源利活用促進のためのイベント（BISTRO下水道 in 霧島・鹿児島高専）を2021年12月22日に開催した。イベント終了時に来場者に対して、アンケート調査を行い、普及に向けた情報を収集した。

● 新規下水汚泥肥料の量産化試験

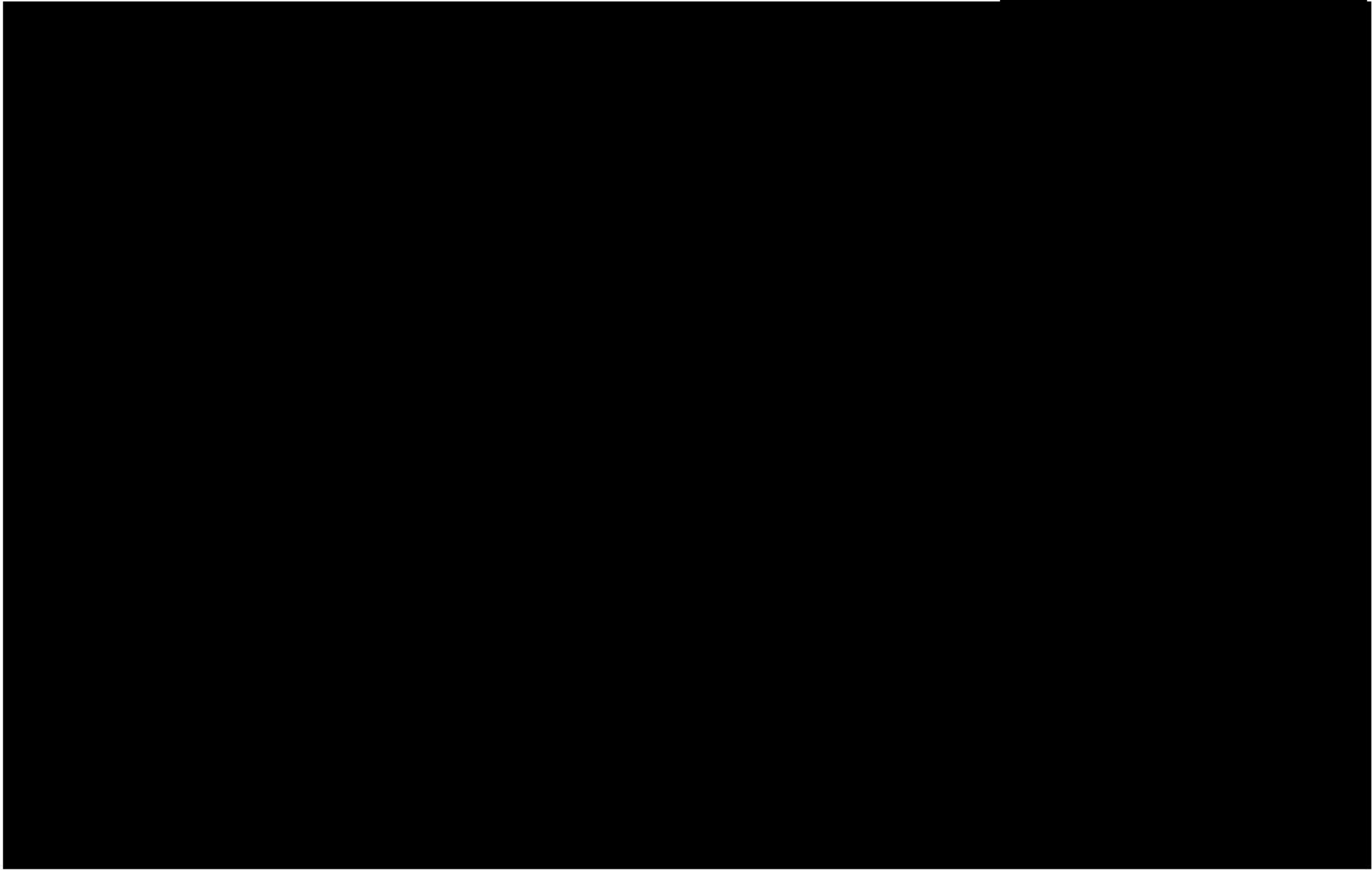
新規下水汚泥肥料の成分特性



● 新規下水汚泥肥料の菌叢解析

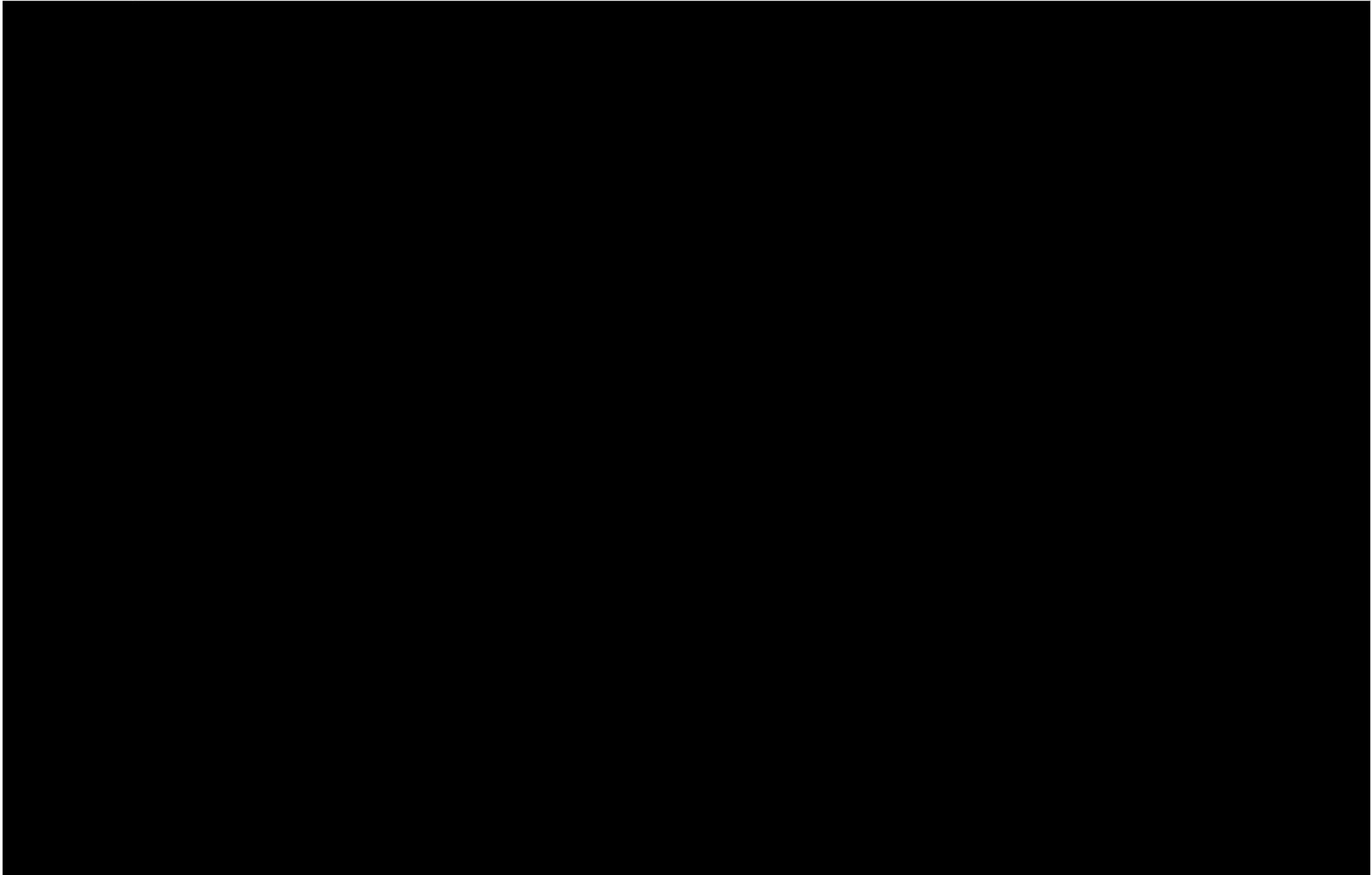


● 新規下水汚泥肥料の植害試験

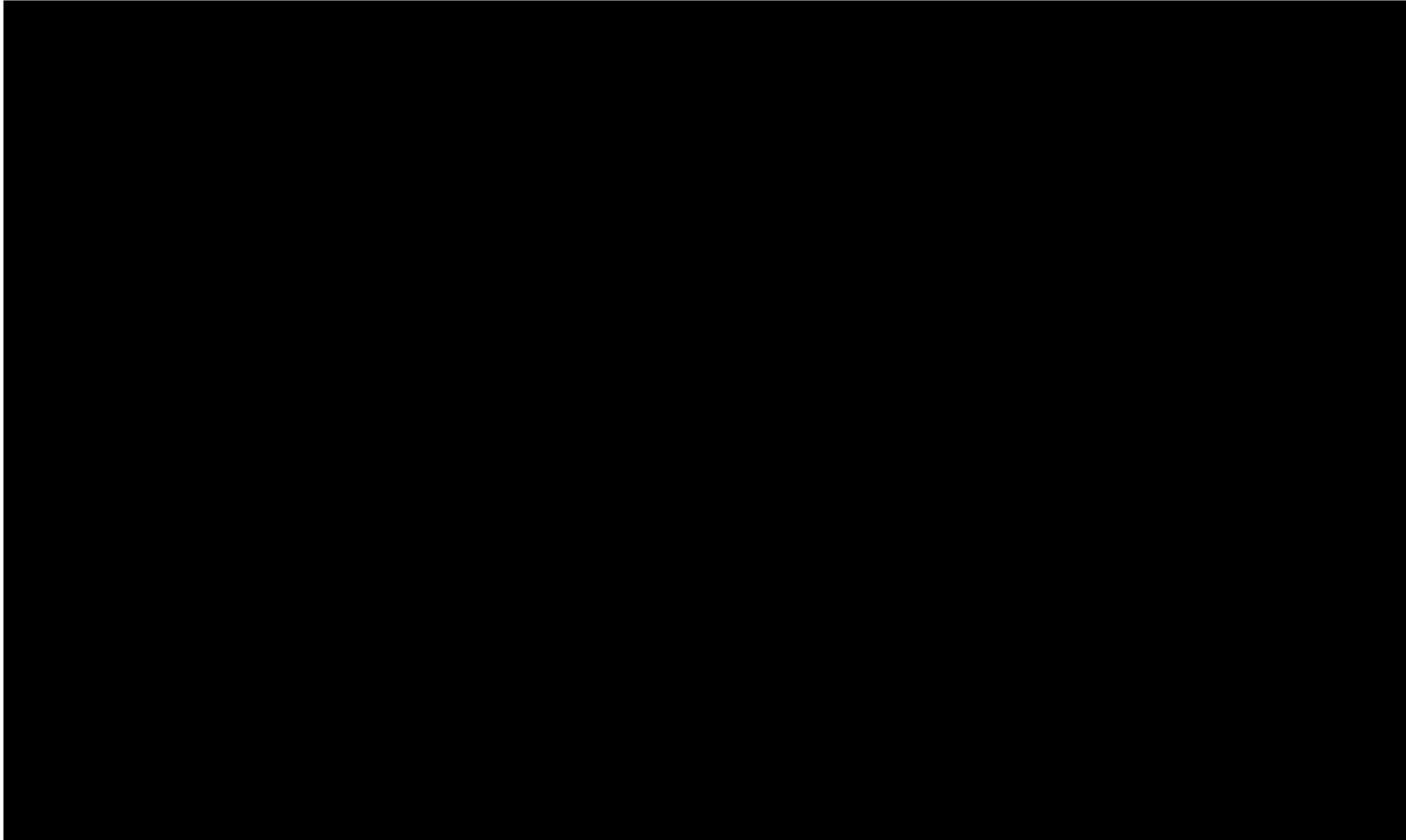


5.研究成果（5-1. 成果の概要） サブテーマ1：新規下水汚泥肥料量産化技術の開発

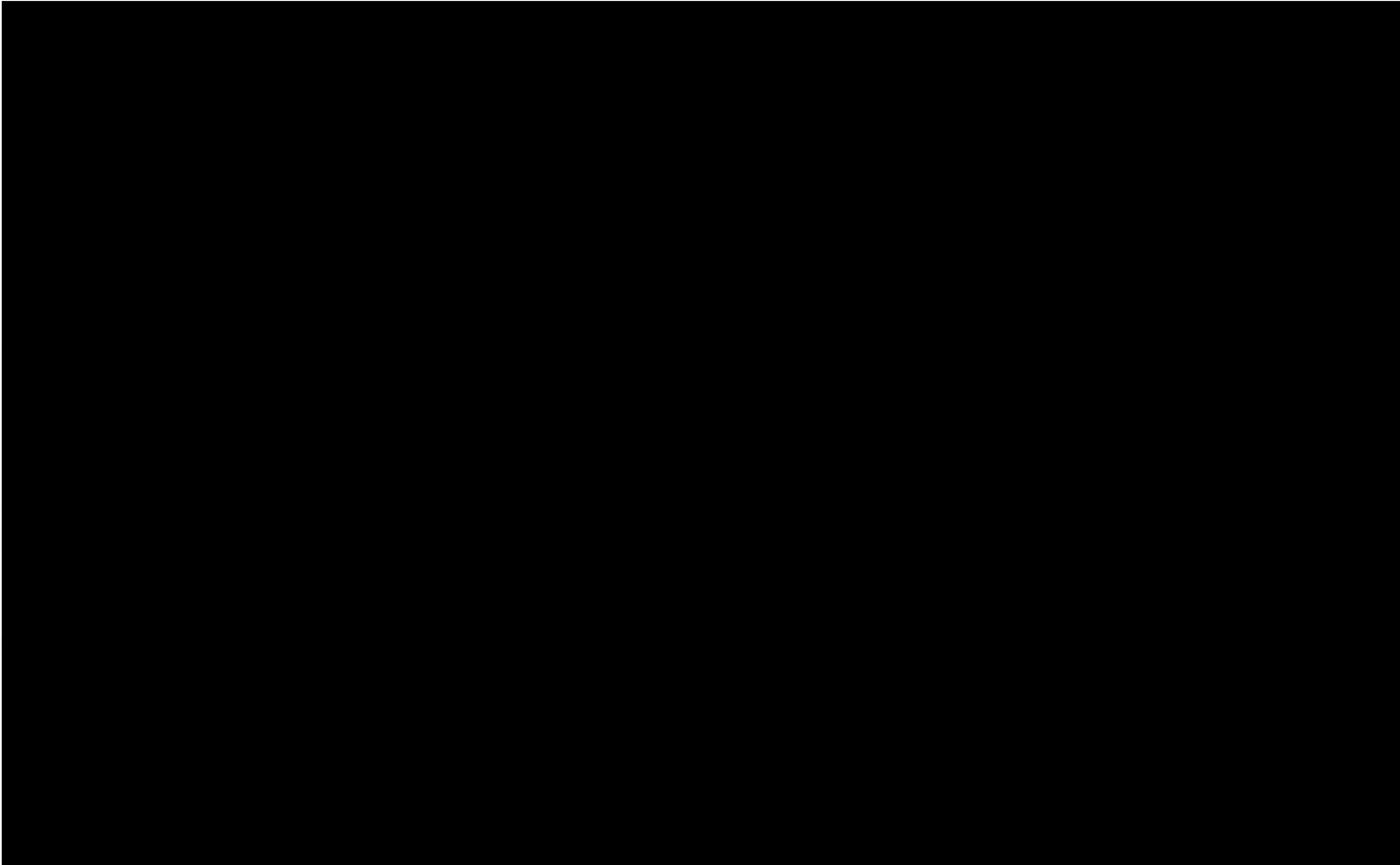
● 新規下水汚泥肥料の窒素無機化試験



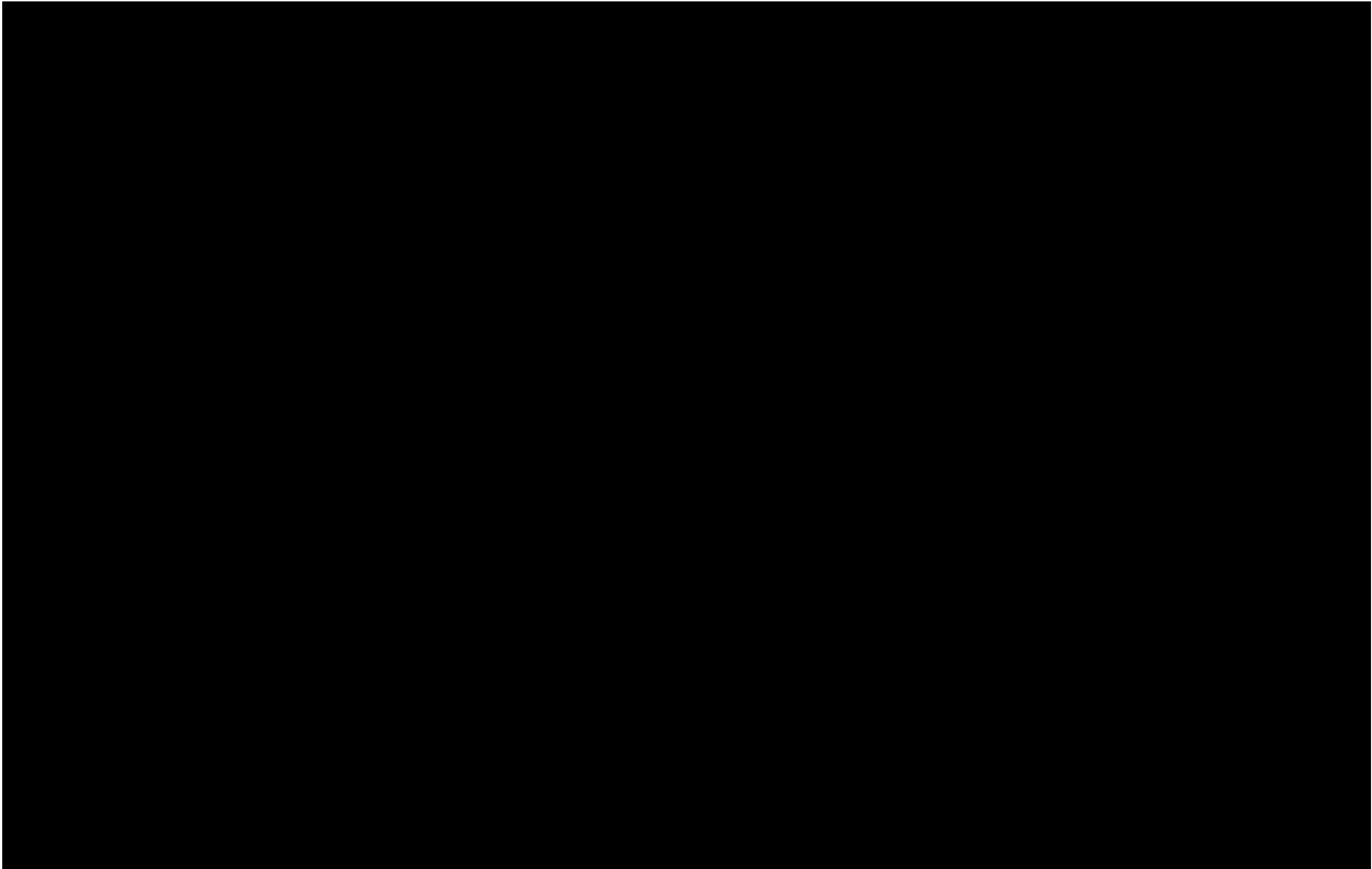
- 異なる脱水汚泥を用いた新規下水汚泥肥料の調製



● 新規下水汚泥肥料の製造日数短縮試験

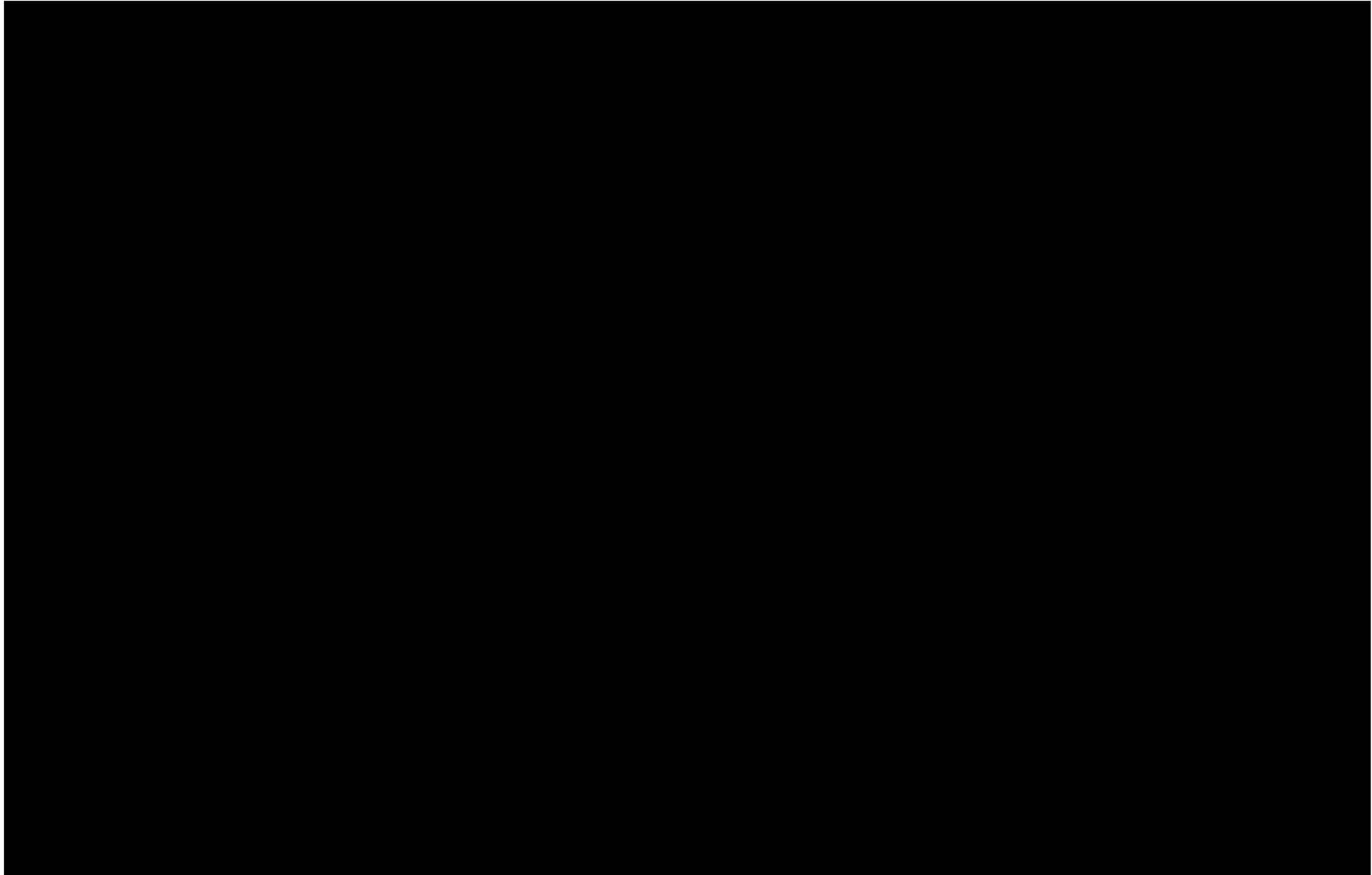


● 新規下水汚泥肥料の最適施肥割合の検討



5.研究成果（5-1. 成果の概要） サブテーマ2：新規下水汚泥肥料を用いた茶栽培試験

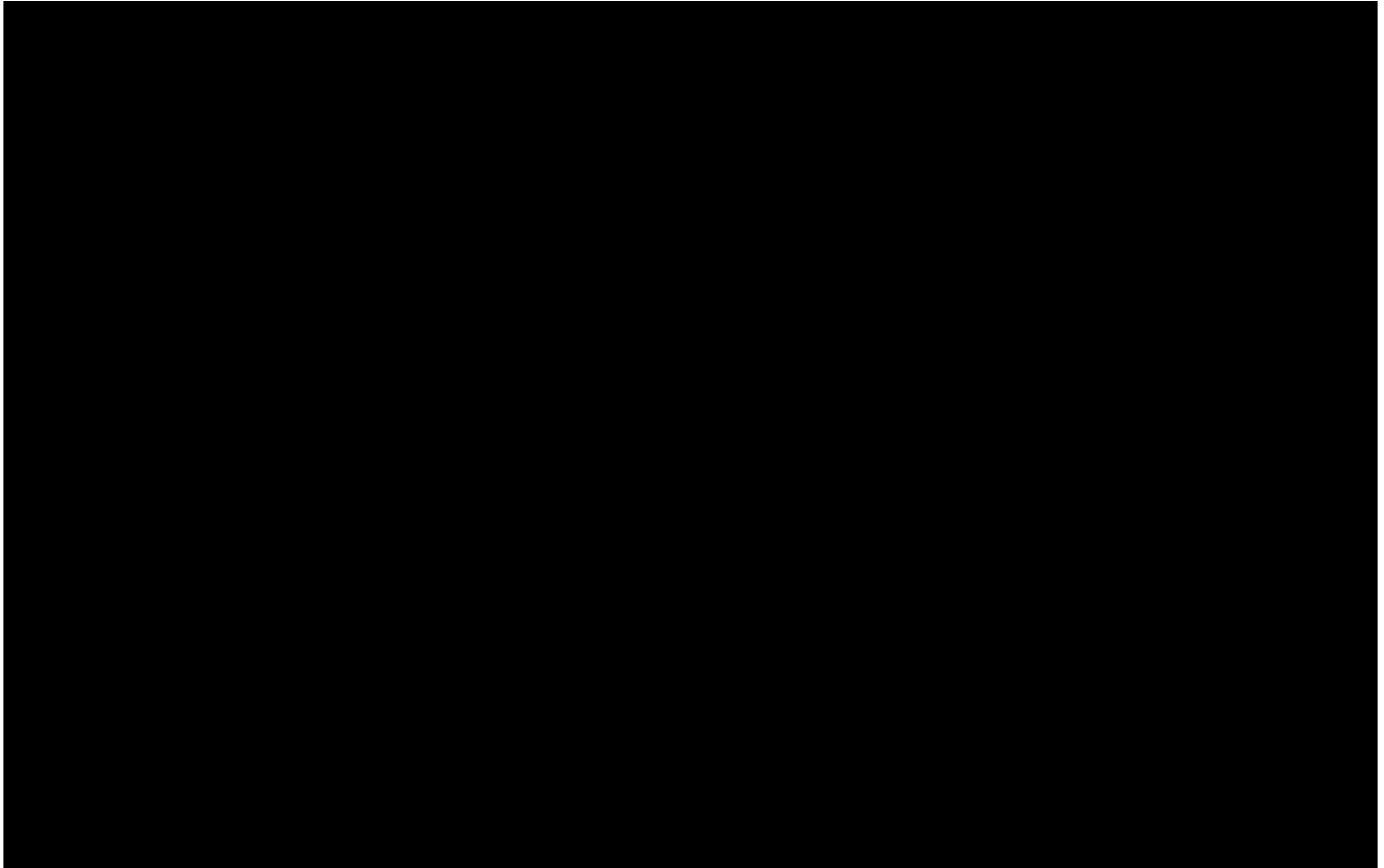
● 新規下水汚泥肥料の効果的な施肥時期の検討



● 新規下水汚泥肥料の地下水への窒素溶脱量の評価



● 茶樹の重金属成分等のマテリアルフロー解析



● 地域バイオマスの賦存量と新規下水汚泥肥料製造

● 新規下水汚泥肥料のマテリアルフロー分析



5.研究成果 (5-2. 環境政策等への貢献)

【重点課題⑩】地域循環共生圏形成に資する廃棄物処理システムの構築に関する研究・技術開発

【行政ニーズ3-5】地域循環共生圏の形成に向けたバイオマス廃棄物等を対象とした処理プロセスのより一層の高度化に関する研究

新規下水汚泥肥料の肥料特性を最大限活用できる茶栽培へ適用する



地域循環共生圏形成

新規下水汚泥肥料は、食品廃棄物（焼酎粕）や竹資材といった鹿児島県特有のバイオマスを活用している。これにより、下水汚泥処理システムに、茶栽培のみならず酒造メーカー、林業といった、第一次・第二次産業を巻き込んだ地域循環共生圏を創出できる。

〈行政等が既に活用した成果〉 2022年度の鹿児島県の「普及情報」として活用

2022年12月 食料安定供給・農林水産業基盤強化本部が食料安全保障強化政策大綱を決定。下水汚泥資源の肥料利用を拡大し、肥料の国産化や安定化を確保するための対策の実施すると記載→本研究成果を活用することが可能

5.研究成果（5-3. 研究目標の達成状況）

全体目標

達成状況：目標を上回る成果をあげた

5.研究成果（5-3. 研究目標の達成状況）

サブテーマ1：新規下水汚泥肥料量産化技術の開発

達成状況：目標を上回る成果をあげた

5.研究成果（5-3. 研究目標の達成状況）

サブテーマ2：新規下水汚泥肥料を用いた茶栽培試験

達成状況：目標通りの成果をあげた

6. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<査読付き論文> 3件

【サブテーマ1】

1) K.Kuroda, T.Katahira, M.Yamada, I.Uezono, N.Nakamura, T.Yamaguchi, M.Yamauchi: Bioresource Technology Reports, 22 101401(2023)

「Co-composting of sewage sludge with plant biomass, and analysis of microbiome relevant to plant growth promotion.」

2) 片平智仁、原田隆大、瀧龍平、上菌一郎、中村憲知、山田真義、黒田恭平、碓智、山口隆司、山内正仁：土木学会論文集G（環境）、78(7)、III_223-III_231（2022）

「新規下水汚泥肥料の量産化技術の開発と茶栽培への適用」

【サブテーマ2】

1) 山内正仁、原田隆大、山田真義、瀧龍平、黒田恭平、片平智仁、碓智、山口隆司：土木学会論文集G（環境）、77(7)、III_161-III_168（2021）

「下水汚泥肥料およびマッシュルーム廃菌床の茶栽培への適用」

(2) 本研究費の研究成果による受賞 4件

1) 原田隆大：下水汚泥肥料を用いた茶栽培試験に関する研究、「優秀発表賞」、日本水環境学会九州沖縄支部、2021年3月16日（原田隆大、瀧龍平、山田真義、片平智仁、山内正仁）

2) 鹿児島工業高等専門学校、鹿児島県農業開発総合センター、産業技術総合研究所、（株）日水コン、（株）三州衛生公社：下水汚泥と地域バイオマス廃棄物を活用した肥料の開発、「第49回環境賞/優良賞」日刊工業新聞社、2022年5月10日

3) 瀧龍平：Mass production test of new sewage sludge fertilizer for practical use and its adaptation to tea cultivation, 「7th STI-Gigaku 2022 Best Research Presentation Award by Sumitomo Riko Company, (R.Gata, H.Shido, T.Katahira, M.Yamada, K.Kuroda, R.Harada, T.Yamaguchi and M.Yamauchi) , 2022年11月18日

4) 山内正仁、原田隆大、山田真義、瀧龍平、黒田恭平、片平智仁、碓智、山口隆司：下水汚泥肥料およびマッシュルーム廃菌床の茶栽培への適用、「第58回環境工学研究フォーラム論文賞」、土木学会環境工学委員会 2022年11月29日

6. 研究成果の発表状況

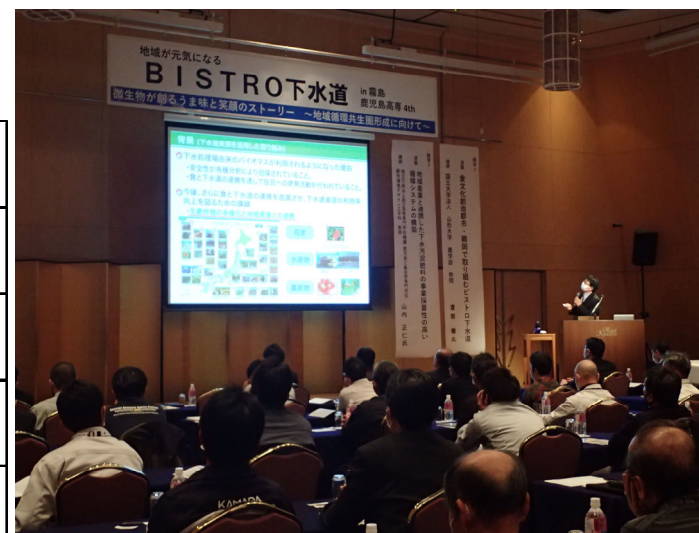
(3) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) BISTRO下水道 in 霧島 鹿児島高専 4th (主催：鹿児島工業高等専門学校、2021年12月22日、定員100名に対し、参加者130名、ホテル京セラ) で、研究成果の発信、パネルディスカッション実施
- 2) New環境展 (主催：日報ビジネス、2022年5月25～27日、来場者67402人、東京ビックサイト) に参加し、来場者と意見交換
- 3) ビストロ下水道研究発表会 in 鶴岡 (共催：鶴岡市、山形大学農学部、2022年8月23日、参加者150名 (会場：90名、オンライン：60名、山形大学農学部301講義室) で、研究成果の発信、パネルディスカッション実施



発表件数等一覧

査読付き論文	3件
査読付き論文に準ずる成果発表	0件
その他誌上発表 (査読なし)	4件
口頭発表 (学会等)	17件
「国民との科学・技術対話」の実施	3件
マスコミ等への公表・報道等	11件
本研究費の研究成果による受賞	4件
その他の成果発表	7件



BISTRO下水道開催風景

9 産業と技術革新の
基盤をつくらう



12 つくる責任
つかう責任



ご清聴ありがとうございました

15 陸の豊かさも
守ろう



2 飢餓を
ゼロに



11 住み続けられる
まちづくりを

